

---

---

**Reconnaissance et essais  
géotechniques — Surveillance  
géotechnique par instrumentation in  
situ —**

Partie 4:

**Mesure de la pression interstitielle:  
Piezomètres**

(standards.iteh.ai)

*Geotechnical investigation and testing — Geotechnical monitoring by  
field instrumentation —*

<https://standards.iteh.org/catalog/standards/sist/a5642-d99-e402-438a-9be8-ef89d0385057/iso-18674-4-2020>  
**Part 4: Measurement of pore water pressure: Piezometers**



**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

ISO 18674-4:2020

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/a5643d99-e402-438a-9be8-ef89d0385057/iso-18674-4-2020>



**DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT**

© ISO 2020

Tous droits réservés. Sauf prescription différente ou nécessité dans le contexte de sa mise en œuvre, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie, ou la diffusion sur l'internet ou sur un intranet, sans autorisation écrite préalable. Une autorisation peut être demandée à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office

Case postale 401 • Ch. de Blandonnet 8

CH-1214 Vernier, Genève

Tél.: +41 22 749 01 11

E-mail: [copyright@iso.org](mailto:copyright@iso.org)

Web: [www.iso.org](http://www.iso.org)

Publié en Suisse

## Sommaire

Page

<b>Avant-propos</b> .....	<b>iv</b>
<b>1 Domaine d'application</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Références normatives</b> .....	<b>1</b>
<b>3 Termes et définitions</b> .....	<b>2</b>
<b>4 Symboles et termes abrégés</b> .....	<b>7</b>
<b>5 Instruments</b> .....	<b>8</b>
5.1 Généralités.....	8
5.2 Systèmes de piézomètre ouverts.....	9
5.2.1 Généralités.....	9
5.2.2 Types de systèmes de piézomètre ouverts.....	10
5.3 Systèmes de piézomètre fermés.....	13
5.3.1 Généralités.....	13
5.3.2 Types de systèmes de piézomètre fermés.....	16
5.4 Mesures absolues et relatives et compensation de la pression atmosphérique.....	17
5.5 Exigences relatives aux filtres.....	19
5.5.1 Filtres des systèmes de piézomètre ouverts.....	19
5.5.2 Filtres des systèmes de piézomètre fermés.....	19
5.6 Étendue et exactitude des mesures.....	20
<b>6 Mise en place et procédure de mesure</b> .....	<b>20</b>
6.1 Mise en place.....	20
6.1.1 Généralités.....	20
6.1.2 Mise en place de systèmes de piézomètre ouverts.....	22
6.1.3 Mise en place de systèmes de piézomètre fermés.....	23
6.1.4 Contrôles avant, pendant et après la mise en place.....	25
6.1.5 Maintenance.....	26
6.2 Réalisation de la mesure.....	26
6.2.1 Vérification et étalonnage de l'instrumentation.....	26
6.2.2 Mesure.....	26
<b>7 Traitement et évaluation des données</b> .....	<b>27</b>
<b>8 Compte rendu</b> .....	<b>27</b>
8.1 Compte rendu d'installation.....	27
8.2 Compte rendu de surveillance.....	27
<b>Annexe A (normative) Procédure de mesure et d'évaluation</b> .....	<b>28</b>
<b>Annexe B (informative) Applications géotechniques</b> .....	<b>35</b>
<b>Annexe C (informative) Protection des piézomètres au niveau du sol</b> .....	<b>37</b>
<b>Annexe D (informative) Temps de réponse des mesures de pression interstitielle</b> .....	<b>40</b>
<b>Annexe E (normative) Mise en place d'un piézomètre entièrement cimenté</b> .....	<b>43</b>
<b>Annexe F (normative) Mesure d'une pression interstitielle négative (suction du sol)</b> .....	<b>45</b>
<b>Annexe G (informative) Exemples de mesure</b> .....	<b>46</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>59</b>

## Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (IEC) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/IEC, Partie 1. Il convient, en particulier, de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir [www.iso.org/directives](http://www.iso.org/directives)).

L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou dans la liste des déclarations de brevets reçues par l'ISO (voir [www.iso.org/brevets](http://www.iso.org/brevets)).

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité, à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

(standards.iteh.ai)

Pour une explication de la nature volontaire des normes, la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir [www.iso.org/avant-propos](http://www.iso.org/avant-propos).

Ce document a été élaboré par le Comité technique ISO/TC 182, *Géotechnique*, en collaboration avec le comité technique CEN/TC 341, *Investigations et essais géotechniques*, du Comité européen de normalisation (CEN), conformément à l'accord de coopération technique entre l'ISO et le CEN (Accord de Vienne).

Une liste de toutes les parties de la série ISO 18674 est disponible sur le site web de l'ISO.

Tout commentaire ou toute question à propos du présent document doit être adressé à l'organisme de normalisation national de l'utilisateur. Une liste complète de ces organismes est disponible à l'adresse [www.iso.org/members.html](http://www.iso.org/members.html).

# Reconnaissance et essais géotechniques — Surveillance géotechnique par instrumentation in situ —

## Partie 4: Mesure de la pression interstitielle: Piézomètres

**IMPORTANT** — Le présent document spécifie la mesure des pressions interstitielles et des niveaux piézométriques dans un sol saturé, au moyen de piézomètres installés dans le cadre d'une surveillance géotechnique. Les règles générales de surveillance des performances du terrain, des structures en interaction avec le terrain, des remblais et des travaux géotechniques sont présentées dans l'ISO 18674-1.

### 1 Domaine d'application

Le présent document spécifie la mesure des pressions interstitielles et des niveaux piézométriques dans un sol saturé, au moyen de piézomètres installés dans le cadre d'une surveillance géotechnique. Les règles générales de surveillance des performances du terrain, des structures en interaction avec le terrain, des remblais et des travaux géotechniques sont présentées dans l'ISO 18674-1.

Si elles sont appliquées conjointement à la norme ISO 18674-5, les procédures décrites dans le présent document permettent de déterminer les contraintes effectives qui agissent dans le sol.

Le présent document s'applique:

- au suivi des pressions d'eau qui agissent sur et dans les structures géotechniques (par ex. parois de quais, digues, parois d'excavation, fondations, barrages, tunnels, talus, levées de terre, etc.);
- au suivi des processus de consolidation du terrain et des remblais (par ex. sous des fondations et dans des levées de terre);
- à l'évaluation de la stabilité et de l'aptitude à l'entretien des structures géotechniques;
- au contrôle des calculs géotechniques en lien avec la procédure observationnelle.

**NOTE** Le présent document satisfait aux exigences relatives à la surveillance des performances du terrain, des structures en interaction avec le terrain et des ouvrages géotechniques au moyen de piézomètres mis en œuvre dans le cadre des études et essais géotechniques conformément aux Références [4] et [5]. Le présent document se rapporte à des dispositifs de mesure, lesquels sont installés dans le sol. Pour les mesures de pression interstitielle réalisées en lien avec des essais de pénétration au cône, voir l'ISO 22476-1.

### 2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO 18674-1:2015, *Reconnaissance et essais géotechniques — Surveillance géotechnique par instrumentation in situ — Partie 1: Règles générales*

EN ISO 22475-1, *Reconnaissance et essais géotechniques — Méthodes de prélèvement et mesurages piézométriques — Partie 1: principes techniques des travaux*

### 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et les définitions de l'ISO 18674-1 ainsi que les suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>

#### 3.1 piézomètre

système d'instrument de terrain destiné à mesurer la *pression interstitielle* (3.2) ou le *niveau piézométrique* (3.4) à l'endroit où le *point de mesure* (3.15) est confiné dans le sol ou le remblai de telle sorte que la mesure répond à la pression du fluide autour de la zone ou du point de mesure et non aux pressions du fluide à d'autres élévations

Note 1 à l'article: Le système consiste en un *réservoir* (3.1.2) étanche rempli de fluide, un *filtre* (3.1.3) et un *dispositif de mesure* (3.1.7).

Note 2 à l'article: Le système est soit un *système de piézomètre ouvert* (3.6), soit un *système de piézomètre fermé* (3.7).

##### 3.1.1 zone de prise

zone confinée par des *bouchoirs* (3.1.6), entre lesquels l'eau dans le sol peut s'écouler vers le *dispositif de mesure* (3.1.7), délimitant ainsi le *point de mesure* (3.1.5)

Note 1 à l'article: Voir la [Figure 1](#).

Note 2 à l'article: On suppose qu'une distribution de *pression interstitielle* (3.2) hydrostatique est établie le long de la zone de prise.

Note 3 à l'article: La constante de proportionnalité entre le débit entrant ou sortant d'un *piézomètre* (3.1) et le changement de *pression interstitielle* (3.2) est appelé facteur de prise *F*.

##### 3.1.2 réservoir

espace entre le terrain et le *dispositif de mesure* (3.1.7), occupé par un fluide, qui permet à la *pression interstitielle* (3.2) d'agir sur l'élément de détection du dispositif de mesure

Note 1 à l'article: Les pores du *filtre* (3.1.3) font partie intégrante du réservoir.

Note 2 à l'article: Dans les *systèmes de piézomètre ouverts* (3.6), la partie remplie d'eau du tube piézométrique fait partie du réservoir.

##### 3.1.3 filtre

section perméable d'un *piézomètre* (3.1) délimitant la *zone de prise* (3.1.1), qui permet l'entrée de l'eau, et dans le même temps empêche l'entrée des particules du sol dans le tube piézométrique ou le *dispositif de mesure* (3.1.7)

Note 1 à l'article: Le filtre peut être constitué d'une combinaison d'éléments, tels qu'une poche de sable, un tube crépiné, un manchon de géotextile, une *pointe filtrante* (3.1.4) et un remplissage de coulis dans certains cas particuliers.

##### 3.1.4 pointe filtrante

élément filtrant (*filtre* (3.1.4)) qui est une partie commune d'un *système de piézomètre fermé* (3.1.7)

Note 1 à l'article: Les pointes filtrantes sont formées d'un matériau dont la porosité est choisie en fonction des besoins, i.e. *filtre HCEA* (3.1.4.1) ou *filtre BCEA* (3.1.4.2).

**3.1.4.1****filtre à haut coefficient d'entrée d'air  
filtre HCEA**

*pointe filtrante* (3.1.4) dont la taille des pores est comparativement petite, ce qui lui confère une résistance élevée au passage de l'air par rapport au passage de l'eau

Note 1 à l'article: Couramment, les pointes filtrantes à haut coefficient d'entrée d'air ont des diamètres de pores situés entre 1 µm et 3 µm.

Note 2 à l'article: Les pointes filtrantes HCEA sont utilisées lorsqu'on souhaite maintenir le gaz à l'extérieur du *dispositif de mesure* (3.1.7).

Note 3 à l'article: Dans un sol non-saturé ou lorsqu'on doit mesurer des *pressions interstitielles* (3.2) négatives (c.-à-d. une succion, voir l'*Annexe F*), la pression de la phase gazeuse est toujours supérieure à celle de l'eau interstitielle. Le diamètre de pore requis pour une pointe filtrante HCEA dépend de la différence entre la pression de l'air interstitiel et la pression interstitielle.

**3.1.4.2****filtre à bas coefficient d'entrée d'air  
filtre BCEA**

*pointe filtrante* (3.1.4) dont la taille des pores est comparativement grande, ce qui lui confère une résistance moindre et permet facilement le passage de l'air et de l'eau

Note 1 à l'article: Couramment, les pointes filtrantes à bas coefficient d'entrée d'air ont des diamètres de pores situés entre 20 µm et 50 µm.

**3.1.5****massif filtrant**

matériau perméable, placé autour d'une section crépinée (fentes ou trous) d'un *piézomètre* (3.1) ouvert, ou autour de la *pointe filtrante* (3.1.4), permettant à l'eau d'atteindre le *dispositif de mesure* (3.1.7)

**3.1.6****bouchon**

couche dans un trou de forage, constituée d'un matériau de perméabilité appropriée et permettant une séparation hydraulique de deux *aquifères* (3.10)

Note 1 à l'article: Les bouchons servent généralement à confiner une *zone de prise* (3.1.1).

**3.1.7****dispositif de mesure**

partie du système de *piézomètre* (3.1) utilisée pour mesurer le *niveau piézométrique* (3.4) dans un *système ouvert* (3.6), ou la *pression interstitielle* (3.2) dans un *système fermé* (3.7)

Note 1 à l'article: Pour un *système ouvert* (3.6), le dispositif de mesure est couramment un *dispositif de mesure de niveau d'eau* (3.1.7.1) dans le cas de mesures manuelles, ou un capteur de pression dans le cas de mesures automatiques.

Note 2 à l'article: Pour un *système fermé* (3.7), le dispositif de mesure est généralement un capteur de pression à membrane (voir 7b à la Figure 1.b). La membrane sépare un *réservoir* (3.1.2) et une chambre interne située dans le capteur. La déflexion de la membrane dépend de la *pression interstitielle* (3.2) (voir la *Figure 3*).

Note 3 à l'article: Pour les systèmes fermés, le dispositif de mesure est souvent appelé piézomètre, au sens strict du terme.

**3.1.7.1****dispositif de mesure de niveau d'eau**

dispositif de mesure comportant un ruban de mesure dont la longueur est graduée et une extrémité qui active un signal (lumineux ou sonore) lorsqu'elle entre en contact avec l'eau

Note 1 à l'article: On utilise couramment un dispositif de mesure de niveau d'eau pour les mesures manuelles dans les *systèmes ouverts* (3.6) ou lors de la procédure d'installation des *piézomètres* (3.1).

### 3.1.7.2

#### piézomètre électrique

*piézomètre* (3.1) dans lequel le *dispositif de mesure* (3.1.7) comporte une membrane dont la déformation sous l'effet de la *pression interstitielle* (3.2) est mesurée par un capteur électrique

Note 1 à l'article: Les piézomètres électriques reposent couramment sur des capteurs à jauge de contrainte, piézo-électriques, à corde vibrante ou capacitifs. Certains dispositifs d'acquisition des données prennent en charge tous les types de piézomètre électrique.

Note 2 à l'article: Voir la [Figure 3](#).

### 3.1.7.3

#### piézomètre à fibre optique

*piézomètre* (3.1) dans lequel le *dispositif de mesure* (3.1.7) de la pression comporte une membrane dont la déformation est mesurée par un capteur optique

Note 1 à l'article: Les piézomètres à fibre optique ne nécessitent pas de liaison électrique entre le dispositif d'affichage et le capteur.

Note 2 à l'article: Les piézomètres à fibre optique nécessitent un dispositif d'affichage dédié.

### 3.1.7.4

#### piézomètre pneumatique

*piézomètre* (3.1) dans lequel le *dispositif de mesure* (3.1.7) comporte une vanne qui est ouverte de manière pneumatique par la pression d'un gaz, laquelle est exercée depuis l'extérieur par l'intermédiaire de tubes remplis de gaz, et fermée par la *pression interstitielle* (3.2)

Note 1 à l'article: Voir la [Figure 4](#).

## 3.2

### pression interstitielle

*u*

pression de l'eau dans les vides du terrain ou d'un remblai, par rapport à la pression atmosphérique

Note 1 à l'article: La pression interstitielle est la différence entre la contrainte totale et la contrainte effective dans un terrain saturé (voir les Références [6] et [7]).

Note 2 à l'article: Dans le cas des roches, le terme associé est pression de l'eau des fissures.

Note 3 à l'article: Un sol ou un remblai dont les pores sont entièrement remplis d'eau est dit «saturé».

Note 4 à l'article: Les mesures de pression interstitielle peuvent donner des valeurs positives ou négatives (voir la Référence [8] et l'[Annexe F](#)). Les instruments qui mesurent directement des pressions interstitielles négatives sont parfois appelés «tensiomètres», mais ils n'entrent pas dans le champ d'application du présent document (voir ISO 11276).

Note 5 à l'article: Les mesures de la pression interstitielle peuvent être affectés par les changements de la pression atmosphérique (voir [5.4.1](#) et [Annexe A](#)).

## 3.3

### hauteur de charge

$\psi$

rapport  $u/\gamma_e$  de la *pression interstitielle*  $u$  (3.2) et du poids spécifique de l'eau  $\gamma_e$ , au-dessus d'un point

Note 1 à l'article: Pour un *système ouvert* (3.6), elle est proportionnelle à la différence de hauteur entre le *niveau piézométrique* (3.4) et le niveau du *point de mesure* (3.15) (voir [Figure 1](#)).

### 3.4 niveau piézométrique

$z_e$   
hauteur à laquelle l'eau s'élèvera dans un *piézomètre à tube ouvert* (3.6.1) et à laquelle la pression de l'eau dans le terrain est égale à celle de l'atmosphère ambiante

Note 1 à l'article: Le niveau piézométrique  $z_e$  est la somme de la hauteur géométrique  $z$  et de la *hauteur de charge*  $\psi$  (3.3):  $z_e = z + u/\gamma_e$ .

Note 2 à l'article: Voir la [Figure 1](#).

### 3.5 surface de la nappe phréatique

hauteur à laquelle la *pression interstitielle*  $u$  (3.2) est nulle

Note 1 à l'article: Voir la [Figure 1](#).

Note 2 à l'article: On parle également de «surface phréatique».

Note 3 à l'article: Le niveau de la nappe phréatique est le niveau de la surface de la nappe phréatique à la coordonnée géographique considérée.

### 3.6 système ouvert système de piézomètre ouvert

système d'instrument de terrain dans lequel le fluide est en contact direct avec l'atmosphère et dans lequel est mesuré le *niveau piézométrique* (3.4) au niveau du *point de mesure* (3.15)

#### 3.6.1 piézomètre à tube ouvert

*système de piézomètre ouvert* (3.6), consistant en un tube (installé dans le terrain) qui, au niveau de son extrémité supérieure, est ouvert à l'atmosphère et comporte une section crépinée, située dans la *zone de prise* (3.1.1)

Note 1 à l'article: Voir la [Figure 1 a\)](#)

Note 2 à l'article: Le diamètre interne du tube est généralement compris entre 19 mm et 60 mm.

#### 3.6.2 piézomètre Casagrande

*piézomètre à tube ouvert* (3.6.1) comportant un ou deux tubes de diamètre interne comparativement plus petit et une *pointe filtrante* (3.1.4) poreuse au niveau du *point de mesure* (3.15)

Note 1 à l'article: Voir [5.2.2.4](#), la [Figure 2](#) et la Référence [9].

#### 3.6.3 puits de contrôle

*piézomètre à tube ouvert* (3.6.1) comportant un tube de grand diamètre interne (généralement  $\geq 100$  mm)

Note 1 à l'article: Sous réserve que le *temps de réponse* (3.9) soit satisfaisant, un puits de contrôle peut être utilisé comme *piézomètre* (3.1) à tube ouvert (voir l'[Annexe D](#))

Note 2 à l'article: Un puits de contrôle est souvent utilisé pour prélever des échantillons d'eau souterraine ou pour effectuer des essais de pompage.

#### 3.6.4 puits d'observation

tube ouvert à l'intérieur d'un trou de forage, dans lequel la *zone de prise* (3.1.1) n'est pas confinée

Note 1 à l'article: Les puits d'observation sont souvent incorrectement appelés *piézomètres à tube ouvert* (3.6.1). Ne comportant pas de *bouchon* (3.1.6), les puits d'observation ne peuvent pas être classés comme des *piézomètres* (3.1).

Note 2 à l'article: Voir [5.2.2.3.2](#).

### 3.7

#### système fermé

#### système de piézomètre fermé

système de mesure dans lequel le *réservoir* ([3.1.2](#)) n'est pas en contact direct avec l'atmosphère et dans lequel la pression au sein du fluide est mesurée à l'aide d'un *dispositif de mesure* ([3.1.7](#)) de la pression

Note 1 à l'article: Voir la [Figure 1](#) b)

Note 2 à l'article: Exemples de dispositif de mesure de la pression, utilisés dans des systèmes fermés: capteurs électriques, capteurs à fibre optique et à vanne à membrane.

#### 3.7.1

##### piézomètre à membrane

*système fermé* ([3.7](#)) pourvu d'une *pointe filtrante* ([3.1.4](#)), d'un petit *réservoir* ([3.1.2](#)) et d'une membrane qui sépare l'eau interstitielle du système de mesure

Note 1 à l'article: La déformation de la membrane est mesurée et le signal est conduit par un câble jusqu'à un endroit accessible

Note 2 à l'article: Les piézomètres à membrane peuvent être des *piézomètres électriques* ([3.1.7.2](#)) ou des *piézomètres à fibre optique* ([3.1.7.3](#)).

Note 3 à l'article: La pression est mesurée à proximité de la pointe filtrante.

#### 3.7.2

##### piézomètre à tubes hydrauliques jumelés fermés

*système fermé* ([3.7](#)) comportant une *pointe filtrante* ([3.1.4](#)) en céramique poreuse située dans une *zone de prise* ([3.1.1](#)) et reliée à un site distant par l'intermédiaire de tubes jumelés remplis de fluide

Note 1 à l'article: La mesure de pression a lieu au niveau du site distant, pas au niveau de la pointe filtrante. Les mesures doivent être ajustées pour tenir compte des différences d'élevation entre la pointe filtrante et le site distant.

#### 3.7.3

##### piézomètre à sonde

*système fermé* ([3.7](#)) dans lequel un *dispositif de mesure* ([3.1.7](#)) amovible est inséré dans un tube, lequel est équipé d'un ou plusieurs orifices de mesure, chacun étant situé au niveau d'une *zone de prise* ([3.1.1](#))

### 3.8

#### piézomètre multi-niveau

système comportant plusieurs *points de mesure* ([3.1.5](#)) placés de manière permanente à différentes hauteurs dans le sol, chaque point de mesure ayant sa propre *zone de prise* ([3.1.1](#))

### 3.9

#### retard hydrodynamique

#### temps de réponse

durée qui s'écoule entre un changement de la *pression interstitielle* ([3.2](#)) dans le sol et le changement correspondant de la mesure

Note 1 à l'article: Le retard dépend en premier lieu du type et des dimensions du *piézomètre* ([3.1](#)) (en particulier de la taille du *réservoir* ([3.1.2](#))), de la perméabilité du sol et de la procédure d'installation (voir l'[Annexe D](#)).

Note 2 à l'article: L'expression «temps de réponse lent» associé à un piézomètre, est synonyme d'un retard hydrodynamique long.

### 3.10

#### aquifère

masse de roche ou de sol perméable apte à contenir et à transmettre les eaux souterraines

**3.11****aquifère non confiné**

*aquifère* (3.10) dans lequel la surface de l'eau souterraine correspond à sa limite supérieure

**3.12****aquifère confiné**

*aquifère* (3.10) qui est délimité au-dessus et au-dessous par des *aquicludes* (3.14)

**3.13****couche de confinement**

couche de roche ou de sol peu perméable qui restreint l'écoulement des eaux souterraines et sépare les *aquifères* (3.10)

**3.14****aquiclude**

masse de sol ou de roche de très faible transmissivité, qui empêche efficacement l'eau de s'écouler dans le terrain

**3.15****point de mesure**

point dans le sol auquel fait référence la *pression interstitielle* (3.2)

**4 Symboles et termes abrégés**

Symbole	Nom	Unité
$A$	est l'aire de la section du tube piézométrique	m <sup>2</sup>
$d$	diamètre du trou de forage / diamètre de la zone de prise	m
$D$	diamètre d'un tube piézométrique	m
$F$	facteur de prise	—
PE	Pleine échelle	
SNP	surface de la nappe phréatique	m
HCEA	haut coefficient d'entrée d'air	—
$k_s$	conductivité hydraulique du sol	m/s
$k_g$	conductivité hydraulique du coulis	m/s
$L$	longueur de la zone de prise	m
BCEA	bas coefficient d'entrée d'air	—
$P$	pression	kPa
$q_u$	résistance à la compression non confinée	Pa
NR	niveau de référence	—
$t$	temps	s
$u$	pression interstitielle	kPa
$z$	hauteur géométrique	m
$z_{pm}$	hauteur géométrique du point de mesure	m
$z_e$	niveau piézométrique	m
$\gamma_e$	poids spécifique de l'eau	kN/m <sup>3</sup>
$\psi$	hauteur de charge	m

## 5 Instruments

### 5.1 Généralités

5.1.1 Il convient de faire la distinction entre les systèmes de piézomètre ouverts et fermés (voir le [Tableau 1](#) et la [Figure 1](#)).

**Tableau 1 — Types de piézomètre**

N°	Type	Sous-type	Caractéristiques
1	Système de piézomètre ouvert (voir <a href="#">5.2</a> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>— piézomètre à tube ouvert</li> <li>— puits de contrôle</li> <li>— piézomètre Casagrande</li> </ul>	<p>Un filtre et un réservoir sont installés dans le sol et ouverts à l'atmosphère.</p> <p>Le dispositif de mesure peut être récupéré. Les valeurs peuvent être relevées manuellement ou automatiquement.</p> <p>Un avantage des systèmes ouverts est la possibilité de comparer les mesures automatiques aux mesures manuelles.</p> <p>Dans les sols à faible perméabilité, le temps de réponse des piézomètres ouverts peut ne pas être approprié.</p>
2	Système de piézomètre fermé (voir <a href="#">5.3</a> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>— piézomètre électrique, à fibre optique ou à sonde</li> <li>— piézomètre pneumatique</li> <li>— piézomètre à tubes jumelés</li> </ul>	<p>Un filtre, un réservoir et un capteur de pression sont installés dans le sol et isolés de l'atmosphère.</p> <p>Possibilité d'utiliser des capteurs de pression récupérables avec certains systèmes spéciaux.</p> <p>Les systèmes fermés ont en général un retard plus court que les systèmes ouverts.</p>

5.1.2 Il est recommandé que le choix entre les systèmes ouverts ou fermés s'appuie sur le plan de surveillance (voir l'ISO 18674-1:2015, 4.3) et en tenant compte des conditions de charge et du retard hydrodynamique du système.

NOTE 1 Le choix entre un système ouvert ou fermé est crucial et peut être un facteur décisif de succès ou d'échec de la mesure. Par exemple, dans des conditions non drainées, un système ouvert ne suivra pas correctement les véritables changements de pression d'eau interstitielle (voir [Annexe D](#)).

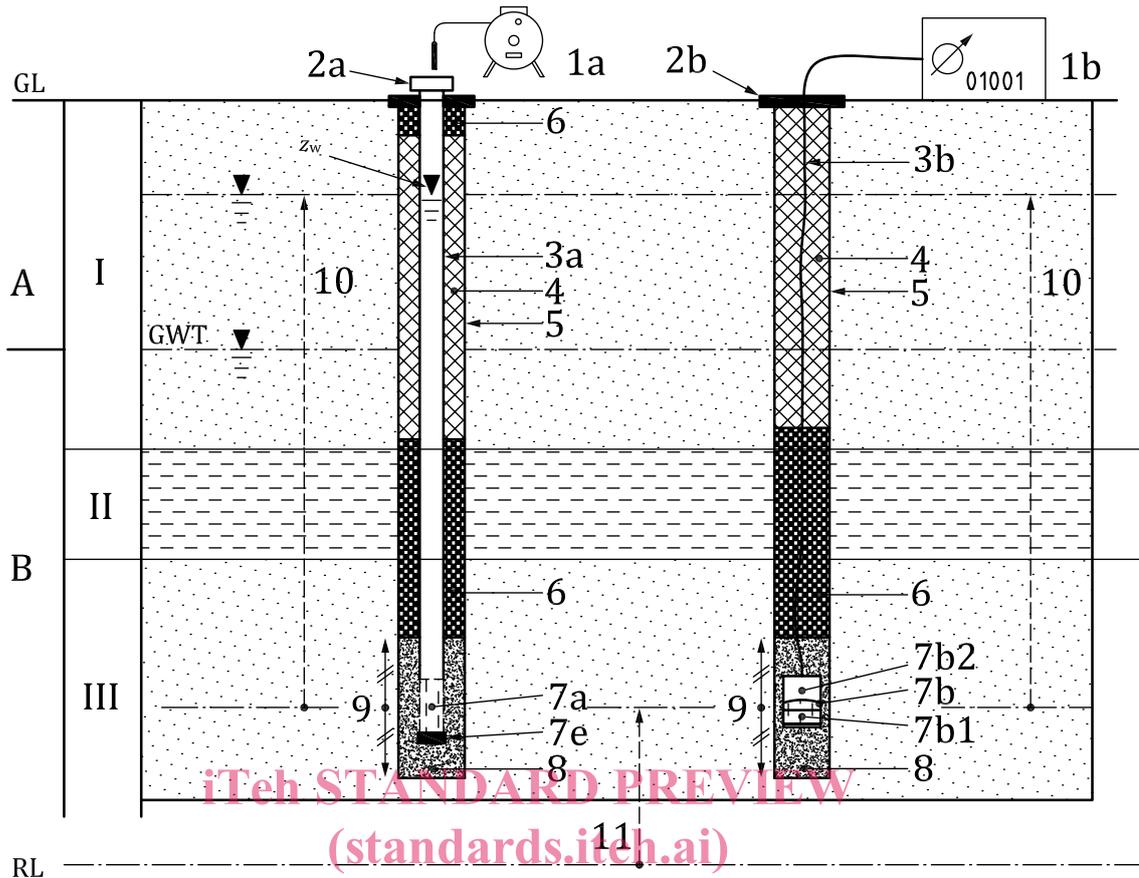
NOTE 2 Les conditions climatiques jouent également un rôle important lors du choix entre un système ouvert ou fermé. Par exemple, lorsqu'il existe un risque de gel, il est préférable de choisir un système fermé.

5.1.3 Il est recommandé que la zone de prise du filtre se limite à une section verticale courte appropriée de l'aquifère.

NOTE Les pressions de l'eau interstitielle peuvent varier avec la profondeur ou dans les aquifères stratifiés ou lorsqu'il existe une circulation verticale de l'eau souterraine.

5.1.4 Tous les composants et l'équipement destiné à être installé dans le sol doivent avoir une résistance suffisante aux charges mécaniques et aux attaques chimiques par les constituants de l'eau souterraine. Toute réaction entre les matériaux utilisés et le terrain, en particulier les conséquences des divers potentiels électrochimiques, par exemple les effets galvaniques, doit être évitée.

NOTE Les différences de potentiel électrochimique peuvent entraîner une modification de la pression interstitielle. Cet effet émane des gaz générés par les courants électriques créés par l'utilisation de différents métaux ou alliages dans la pointe du piézomètre et/ou le matériau du filtre.



a) Système ouvert [ISO 18674-4:2020](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/a5643d99-e402-438a-9be8-ef89d0385057/iso-18674-4-2020) b) Système fermé

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/a5643d99-e402-438a-9be8-ef89d0385057/iso-18674-4-2020>

**Légende**

NS	niveau du terrain	A	zone non saturée SNP	B	zone saturée SNP
I	aquifère non confiné	II	Aquiclude ou aquitard	III	aquifère confiné
$z_e$	niveau piézométrique dans III	SNP	surface de la nappe phréatique dans I	NR	niveau de référence (par ex. niveau de la mer)
1a	dispositif de mesure de niveau d'eau	1b	unité de lecture avec baromètre	2a	couvercle supérieur avec évent et embase
2b	embase	3a	tube piézométrique	3b	câble de signal
4	remblai	5	paroi du trou de forage	6	bouchon
7a	section crépinée (fentes ou trous)	7b	dispositif de mesure de la pression	7b1	réservoir avec pointe filtrante
7b2	chambre interne du capteur	7e	bouchon inférieur	8	massif filtrant
9	zone de prise	10	hauteur de charge	11	élévation du point de mesure par rapport au NR

**Figure 1 — Types de systèmes de piézomètre**

**5.2 Systèmes de piézomètre ouverts**

**5.2.1 Généralités**

**5.2.1.1** Un système de piézomètre ouvert doit comprendre les composants suivants: un filtre autour du point de mesure, un bouchon au-dessus du filtre et un tube crépiné qui s'étend depuis le filtre à travers le bouchon jusqu'à la surface du sol.

EXEMPLE Voir la [Figure 1 a](#)).

NOTE 1 La pression de l'eau au niveau piézométrique est en équilibre avec la pression atmosphérique.

NOTE 2 Si le trou de forage s'étend plus profond que la zone de prise, un bouchon est placé sous le filtre. Les bonnes pratiques préconisent également de placer un bouchon sous le filtre lorsqu'un écoulement horizontal est nécessaire (par ex. pour effectuer des essais sous charge variable croissante ou décroissante).

**5.2.1.2** Le point de mesure d'un piézomètre ouvert est défini comme le point médian de la zone de prise.

NOTE 1 Le niveau piézométrique, mesuré au niveau du point de mesure d'un piézomètre ouvert est influencé par la zone de prise. On suppose une distribution de la pression hydrostatique sur la hauteur de la zone de prise.

NOTE 2 Pour un piézomètre ouvert, le point de mesure n'est pas lié à la position du dispositif de mesure. Par exemple, lorsqu'un capteur de pression est utilisé avec un piézomètre ouvert, le point de mesure reste le centre de la zone de prise, qui n'est généralement pas la position du capteur de pression.

**5.2.1.3** Afin que le niveau de l'eau à l'intérieur du tube puisse varier sans restriction, le couvercle supérieur du tube piézométrique doit être équipé d'un évent.

**5.2.1.4** Les mesures peuvent être conduites soit en déterminant le niveau piézométrique (par ex. à l'aide d'un dispositif de mesure de niveau d'eau) soit en mesurant la pression de l'eau dans le tube piézométrique à une profondeur spécifiée sous le niveau piézométrique (par ex. à l'aide d'un capteur de pression). Lorsque le niveau piézométrique est déterminé à l'aide d'un capteur de pression, il convient d'envisager une compensation des variations de la pression atmosphérique (voir [5.4](#)).

**5.2.1.5** En cas de conditions artésiennes et de débordement du piézomètre, celui-ci peut être prolongé à un niveau supérieur au niveau piézométrique le plus élevé où le système ouvert peut être converti en système fermé (voir [5.3](#)), par exemple en scellant un manomètre sur l'extrémité supérieure du piézomètre.

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/a5643d99-e402-438a-9be8-ef89d0385057/iso-18674-4-2020>

## 5.2.2 Types de systèmes de piézomètre ouverts

### 5.2.2.1 Généralité

Les systèmes de piézomètre ouverts peuvent répondre aux types suivants:

- Piézomètre à tube ouvert
- Puits de contrôle
- Piézomètre Casagrande

### 5.2.2.2 Piézomètre à tube ouvert

Un piézomètre à tube ouvert doit comporter les éléments suivants:

- un tube rectiligne d'un diamètre interne d'au moins 12 mm;

NOTE 1 Ce diamètre interne minimum est généralement nécessaire pour les systèmes à tube piézométrique ouvert à évacuation d'air spontanée.

NOTE 2 Les principaux éléments à prendre en compte lors du choix du diamètre interne sont les conditions du sol et le retard hydrodynamique. Les tubes de plus grand diamètre ont des retards hydrodynamiques plus longs.

- une section crépinée (fentes ou trous) dans la partie inférieure du tube piézométrique;

NOTE 3 Dans le cas d'une utilisation dans un sol très perméable présentant des variations hydrauliques de grande ampleur et rapides, les ouvertures du tube crépiné (fentes ou trous) doivent être suffisamment grandes pour réduire au minimum la résistance à l'écoulement.

- un massif filtrant autour de la section crépinée (fentes ou trous) du tube piézométrique, conformément à [5.5.1.1](#) et [5.5.1.2](#);
- un bouchon d'étanchéité d'au moins 1 m au-dessus du massif filtrant pour confiner la zone de prise et éviter que l'eau de pluie ne pénètre directement dans le système piézométrique;

NOTE 4 Lorsque des billes d'argile sont utilisés pour former un joint d'étanchéité, il est de bonne pratique d'avoir au moins 1 m de bouchon en dessous du niveau de la nappe phréatique afin de permettre aux billes de gonfler. Lorsque cela n'est pas possible, il est conseillé d'utiliser un mélange de coulis comme bouchon.

- un bouchon d'étanchéité d'au moins un mètre de long dans une couche de confinement. Il est recommandé d'ajuster l'emplacement et la longueur du bouchon aux conditions locales du sol.

### 5.2.2.3 Puits de contrôle

**5.2.2.3.1** Un puits de contrôle (voir [3.6.3](#)) comportant les bouchons appropriés peut être utilisé comme piézomètres à tube ouvert (voir [5.2.2.2](#)), sous réserve que le temps de réponse soit acceptable.

**5.2.2.3.2** Il convient de distinguer clairement les puits de contrôle des puits d'observation. Comme il n'est *a priori* pas possible de connaître le régime phréatique, l'utilisation de puits d'observation est fortement découragée.

NOTE Les puits d'observation (voir [3.6.4](#)) ne sont pas classés parmi les piézomètres car ils ne comportent pas de bouchons et peuvent donc établir une connexion entre différents aquifères et ainsi perturber le régime phréatique. Le recours à des puits d'observation est limité à la mesure du niveau de la nappe phréatique dans la couche supérieure du sol dans laquelle, à partir du niveau de la nappe phréatique, la pression de l'eau augmente uniformément avec la profondeur.

### 5.2.2.4 Piézomètre Casagrande

**5.2.2.4.1** Un piézomètre Casagrande doit comporter les composants suivants:

- un filtre à bas coefficient d'entrée d'air constitué d'un matériau approprié tel que du sable de quartz, un matériau céramique, un métal fritté ou un plastique poreux, placé dans un trou de forage;
- un ou deux tubes piézométriques de diamètre interne comparativement petit, reliés au filtre et rejoignant la surface.

NOTE 1 Voir la [Figure 2](#).

NOTE 2 Le diamètre des tubes piézométriques est en général de 12 mm. Des diamètres internes plus petits peuvent être utilisés, mais il est possible que cela empêche la désaération spontanée.

**5.2.2.4.2** Avec les tubes doubles, le piézomètre peut être rincé afin d'éliminer du système l'air et/ou les particules de sol.

NOTE 1 Avec les tubes doubles (voir la [Figure 2 b](#))), le diamètre des tubes peut être inférieur à 12 mm.

NOTE 2 L'utilisation d'un tube de plus grand diamètre (voir la [Figure 2 c](#))) permet l'installation d'un dispositif de mesure de la pression à l'intérieur du tube piézométrique. Le dispositif peut être récupéré et remis en place ou remplacé.

NOTE 3 L'utilisation d'un raccord d'extrémité spécial (voir 9 à la [Figure 2 c](#))), permet de convertir un piézomètre Casagrande en système de piézomètre fermé. Le ou les tube(s) peuvent être fermés par un dispositif qui comprend un capteur de pression et une solution appropriée pour sceller le ou les boîtier(s).